جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره نوزدهم، پاییز ۱۳۹۵

صص ۹۳- ۷۹

DOI: 10.22067/geo.v5i3.44337

مطالعه تاثیرات هواویزها بر خردفیزیک ابرها در شهر تهران

دینا عبدمنافی[۱] - دانشجوی دکترای هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

امیرحسین مشکوتی - استادیار هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

سهراب حجام - دانشیار هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

مجید وظیفه دوست-استادیار مهندسی آب، دانشگاه گیلان. گیلان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۲۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹٥/٦/٤

چکیده

تغییرات در غلظت هواویزها[۲] بخصوص در جو مناطق شهری و صنعتی، یکی از عوامل اصلی در تغییر خرد فیزیک ابرها می باشند. این مطالعه در محدوده زمانی سالهای ۲۰۰۳-۲۰۱۲ میلادی و با استفاده از داده ها و اطلاعات، هواویز، خردفیزیک ابر و رطوبت سنجنده مادیس ماهواره آکوا برای شهر تهران انجام شده است. در این مقاله، هدف اول، تعیین بهترین جایگزین از بین عمق نوری هواویز(AOD) و شاخص هواویز (AI) برای هسته های میعان ابر (CCN) می باشد. دوم، تاثیرات هواویزها بر روی خردفیزیک ابر در شهر تهران مورد بررسی قرار می گیرد. برای بررسی خردفیزیک ابرها، ابرهای نازک و پایین یعنی ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بیشتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال برای محدوده شهر تهران، بررسی شده اند. دلیل انتخاب ابرهای نازک و پایین به عنوان نماینده ابرهای تهران، کاهش خطاهای ناشی از بازیابی داده های سنجنده مادیس می باشد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که، شاخص هواویز جایگزین خیلی بهتری برای CCNها در شهر تهران می باشد. مقدار هواویزها با فشار بالای ابر و دمای بالای ابر همبستگی مثبت و با کسر ابرناکی، ضخامت نوری ابر و مسیر آب ابر همبستگی منفی داشتند. بین شعاع موثر قطرک ابر و شاخص هواویز همبستگی منفی و معنی دار با همبستگی اسپیرمن و عدم همبستگی با ضریب همبستگی پیرسون مشاهده شد. نتایج همبستگی ها نشان می دهند که افزایش هواویزها در شهر تهران در بسیاری از مواقع باعث وقوع پدیده فرابارورسازی[۳] و کاهش ابرناکی در این ۱۰ سال اخیر شده است. همبستگی های بین خود کمیت های خردساختار ابر، کاملاً با مطالعات تئوری مطابقت دارند.

کلید واژگان: هواویز، ابر، سنجنده مادیس، شهر تهران

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲٦۳٤۳۸۹٥ Email: dina_ai@yahoo.co.uk & d.abdemanafi@srbiau.ac.ir

2 aerosol
3 overseeding

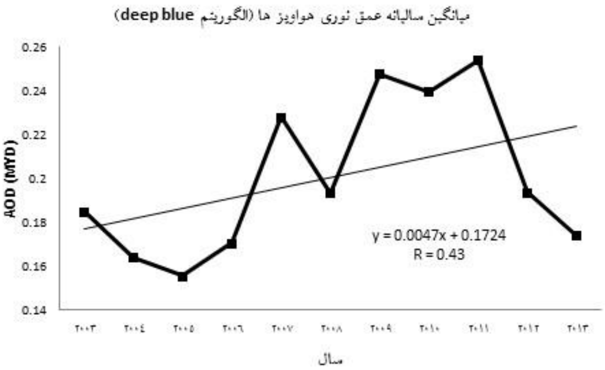
۱. مقدمه

ابرها از پدیده های مهم وتاثیر گذار در بودجه تابشی جو و چرخه آب می باشند. هواویزها اصلی ترین منابع تأمین کنندۀ هسته های میعان ابرها[۱] و از عوامل اصلی تشکیل ابرها می باشند. البته عوامل هواشناسی دیگری نیز در تشکیل ابرها دخالت دارند که مهم ترین آنها میدان های رطوبت و باد می باشند. اولین اثر غیر مستقیم هواویزها بر سیستم اقلیم، یا اثر تومی[۲]، مربوط به اندازه قطرک ابر و سپیدایی[۳] ابر می باشد، به عبارت دیگر افزایش هواویزها باعث کاهش شعاع موثر قطرک های ابر و افزایش سپیدایی ابر خواهد شد (تومی۱۹۷۷، تومی و همکاران ۱۹۸٤). دومین اثر غیرمستقیم هواویزها بر سیستم اقلیمی، مربوط به گسترش ابر، دوره زندگی و میزان بارش ابرها می باشد (آلبرخت[٤] ۱۹۸۹، هانسن[٥] و همکاران ۱۹۹۷، اکرمن[٦] و همکاران ۲۰۰۰).اندازه گیری های ماهواره ها از مقدار هواویزها، رطوبت و خردفیزیک ابرها، با وجود خطاها و کمبود داده های آنها، از ابزارهای بسیار خوب برای این قبیل از مطالعات می باشند. این اندازه گیری ها، می توانند مشاهدات جهانی برای مطالعات آماری رابطه بین هواویز و خواص ابر را در اختیار ما قرار دهند. رابطه بین AOD و یا AI با کمیت های خردساختار ابر، با استفاده از اطلاعات ماهواره های مختلف در نقاط مختلف جهان بررسی شده است. کافمن[۷] و همکاران در سال ۲۰۰۵، اثر آلودگی های هواویزی بر روی ابرهای نازک در اقیانوس اطلس را به کمک دادههای AOD و شعاع موثر قطرک های ابر (CER) گردآوری شده توسط سنجندۀ مادیس را بررسی کردند. آنها همبستگی منفی را بین CER و AOD در منطقۀ مورد مطالعه به دست آوردند. آبیش و موهاناکومار[۸] (۲۰۱۲)، اولین و دومین اثر غیرمستقیم هواویزها را بر روی منطقۀ صنعتی کشور هند مطالعه کردند. آنها در سالهای ۲۰۰٤، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ اثر تومی را مشاهده کردند. همچنین در فصل مونسون همبستگی مثبت و در فصول دیگر همبستگی منفی بین CER و محتوای آب مایع ابر(CWP) مشاهده کردند. یوآن[۹] و همکاران (۲۰۰۸) در چین و خلیج مکزیک، همبستگی مثبت بین AOD و CER با استفاده از داده های مادیس بدست آوردند. تانگ[۱۰] و همکاران (۲۰۱۳) نیز همبستگی مثبت بین CER و AOD، در شرق چین (داده های سنجنده مادیس) بدست آوردند ولی در ٦ نقطه دیگر مورد مطالعه آنها اثر تومی مشاهده شد. جونگ[۱۱] و همکاران

1 CCN
2 Twomey
3 albedo
4 Albrecht
5 Hansen
6 Ackerman
7 Kaufman
8 Abish & Mohanakumar
9 Yuan
10 Tang
11 Jung

(۲۰۱۳)، اولین اثر غیرمستقیم هواویزها را در بازه زمانی ۲۰۰۰–۲۰۰۹ در ٤ منطقه کره جنوبی بررسی کردند. این اثر را بر روی اقیانوس مثبت و بر روی سه منطقه دیگر منفی بدست آوردند.

شهر تهران شهری پرجمعیت و صنعتی می باشد که بدلیل وجود کارخانجات و وسائل نقلیه بسیار، گسیل آلاینده های ذره ای در آن بسیار زیاد می باشد. براساس گزارشهای فنی سالهای ۹۱ و ۹۲ شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (QM92/03/03/(U)/01،QM91/02/06(U)/01) ، در سالهای ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، مهمترین آلاینده هوای تهران ذرات معلق کوچکتر از۲/۵ و ۱۰ میکرون بوده اند. از اینرو مطالعه اثرات آنها بر روی تشکیل، تضعیف و تقویت ابرها در طی این ۱۰ سال اخیر، که جمعیت هواویزها روند افزایشی شدیدی را نشان می‌دهد، ضروری می باشد. در شکل (۱) سری زمانی میانگین های سالیانه AOD که از ماهواره آکوا به دست آمده‌اند بصورت نمودار ترسیم شده است (معنی داری روند، با آزمون من کندال بررسی شده است). همانگونه که مشاهده می‌شود AOD در بازه سالهای ۲۰۰۳– ۲۰۱۲ میلادی در شهر تهران، روند صعودی بالایی داشته است. البته این مطلب با اندازه گیری های ذرات معلق شرکت کنترل کیفیت هوای تهران در این بازه زمانی مطابقت خوبی نشان می دهد. در این مقاله هدف اول، تعیین بهترین نماینده در بین AOD وAI برای CCN ها در شهر تهران می باشد. دوم، بررسی تغییراتی است که هواویزها بر روی خردساختار ابرهای نازک و پایین در محدوده زمانی ۲۰۰۳–۲۰۱۲ میلادی در شهر تهران ایجاد کرده اند، می باشد. این مطالعه با این محتوا تاکنون در ایران و شهر تهران انجام نشده است.

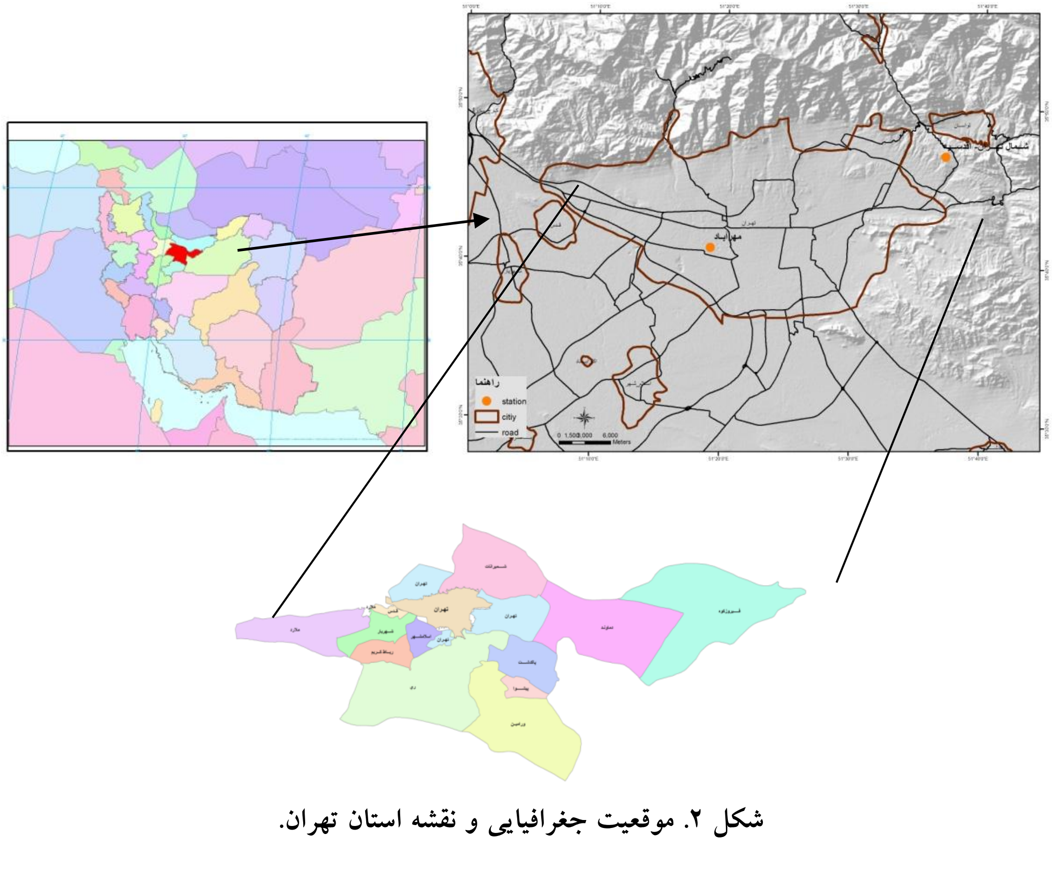


شکل۱. میانگین های سالیانه عمق نوری هواویزها در ۵۵۰ نانومتر(الگوریتم دیپ بلو) که از سنجنده مادیس ماهواره آکوا (MYD08_M3) برای شهر تهران بدست آمده است (۲۰۰۳–۲۰۱۲ میلادی).

۲. منطقه مورد مطالعه

شهر تهران، پایتخت کشور و مرکز استان تهران می باشد که بین طول جغرافیایی۵۱ درجه و ۲دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳٦ دقیقه و بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳٤ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه قرار دارد (شکل (۲)). این شهر از شمال به کوهستان و از جنوب به نواحی کویری منتهی می شود بنابراین دارای ارتفاعهای مختلف، آب و هوا و میزان

بارش های متفاوت در نقاط مختلف اش می باشد. شهر تهران با توجه به سرشماری های انجام شده تا سال ۲۰۱۱ میلادی[1] ، دارای رشد شهر نشینی، افزایش ساختمان های مسکونی آپارتمانی و تردد بیشتر وسایل نقلیه شخصی و عمومی بوده است. این شهر بیش از نیم قرن است که شهری صنعتی بوده و کارخانجات بسیاری در اطراف آن بخصوص در قسمت غرب و جنوب غرب شهر که منطقه ورود تمامی سیستم های آب و هوایی و منطقه باد غالب می باشد، قرار دارند. از طرفی چون رشته کوههای البرز در شمال، شمال شرق و شرق شهر گسترده شده اند، بنابراین برای آلاینده ها همانند سدی می باشند. از نظر جغرافیایی شهر تهران از سمت جنوب به نواحی بیابانی، شوره زار و دریاچه نمک قم منتهی شده است. بدلیل کاهش یافتن مقدار نزولات جوی در برخی از سالها و نیز استفاده بیشتر از منابع آبی حجم آب رودخانه های تهران که در نهایت به دریاچه نمک قم در بیابان های جنوب استان تهران سرازیر می شوند، نیز کاهش چشمگیری یافته است. بنابر این شوره زار های بیشتر و مناطق کویری خشکتر نسبت به سالهای گذشته ایجاد شده است. با توجه به عوامل ذکر شده شهر تهران از نظر غلظت هواویزهای طبیعی و انسانی دارای رتبه بالایی می باشد و از این رو این منطقه جهت مطالعه انتخاب شده است.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی و نقشه استان تهران.

1 http://www.amar.org.ir/ قابل دسترس از سایت

۳. مواد و روش ها

در این مقاله برای مطالعه رابطه بین هواویزها و ابرها از داده های سنجنده مادیس استفاده شده است. با توجه به زمان عبور ماهوارهٔ آکوآ از روی ایران، که تقریباً ساعت ۱۳:۳۰ ظهر می باشد، و آمیختگی خوب هواویزها در لایه مرزی و نزدیک بودن گسترش لایه مرزی به بیشینهٔ عمق روزانهٔ آن از داده های سنجنده مادیس نصب شده بر این ماهواره استفاده شده است. داده های سنجنده مادیس استفاده شده در این مقاله، دارای تفکیک مکانی ۱°×۱° و تفکیک زمانی روزانه (MYD08_D3) می باشند. در این مطالعه از داده های عمق نوری هواویز(AOD)، نمایه آنگستروم[۱] (AE)، بخار آب نزدیک فروسرخ[۲] (برحسب سانتیمتر)، مسیرآب ابر(CWP)، دمای قله ابر(CTT)، فشار قله ابر(CTP)، کسر ابرناکی(CF)، شعاع موثر قطرک ابر(CER) و ضخامت نوری ابر(COT)، استفاده شده است. مقادیر AOD، از داده های الگوریتم دیپ بلو[۳] که الگوریتم مناسبی در خشکی های زمین می باشد استخراج شده اند. این الگوریتم، عوارض ناخواسته ناشی از ابرها، سپیدایی، برف و .... را تصحیح و بنابراین الگوریتم مناسبی برای این پژوهش می باشد (رمر[٤] و همکاران ۲۰۰۵، رمر و همکاران ۲۰۰۸، لوی[٥] و همکاران ۲۰۱۰).

از آنجاییکه بررسی رابطه بین خواص نوری هواویزها و کمیت های خردفیزیک ابر، همراه با عدم قطعیت‌هایی می باشند، در این مقاله برای کاهش خطا، علاوه بر استفاده همزمان از AOD وAI، بر روی ابرهای پایین و نازک در بازه زمانی ۲۰۰۳–۲۰۱۲ میلادی تمرکز شده است. برای این منظور ابرهایی که میانگین فشار قله ابر بیشتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال دارند انتخاب شده اند. بنابراین داده های ماهواره آکوا و ابرهای نازک و پایین مفروضاتی هستند که در اینجا برای کاهش خطا بکار رفته اند.

اولین عامل عدم قطعیت، مربوط به استفاده از خواص نوری هواویزها، به عنوان شاخصی برای غلظت CCN ها می باشد. از نظر برخی محققان AOD نماینده خوبی برای CCNها می باشد (کافمن و همکاران ۲۰۰۵، آندریا[٦] ۲۰۰۹، یوآن و همکاران ۲۰۰۸، کورن[۷] و همکاران ۲۰۱۰، تانگ و همکاران ۲۰۱۳) ولی برخی دیگر از محققان شاخص هواویز(AOD×AE= AI) را شاخص ارجح تری نسبت به AOD می دانند (ناکاجیما[۸] ۲۰۰۱، بریون[۹] و

1 Angstrom Exponent (470/660 nm)
2 Near infrared
3 Deep blue
4 Remer
5 Levy
6 Andreae
7 Koren
8 Nakajima
9 Breon

همکاران ۲۰۰۲، لوی و همکاران ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰، پنر[1] و همکـاران ۲۰۱۲، گریسـپرد[2] و همکـاران ۲۰۱٤). بنـابراین در این مقاله، ابتدا هدف، بررسی و تعیین بهترین نماینده برای CCNها در شهر تهران می باشد.

دومین عدم قطعیت، مربوط به داده های ابر سنجنده مادیس از جمله CER می باشـد. برخـی محصـولات مربـوط به ابر سنجنده مادیس مربوط به بالای ابرها می باشند و میانگین آن کمیت را در کل ابر به ما نمی دهند. به همـین دلیـل و برای کاهش اثر این عدم قطعیت، ابرهای نازک برای این مطالعه انتخاب شدند.

از آنجاییکه هواویزهایی که بیشتر در فرایند شکل گیری ابر و تشکیل بارش تاثیر گذار می باشند، در پایـه ابـر قـرار دارند بنابراین برای محدود کردن اثر این عـدم قطعیـت (سـومین عـدم قطعیـت)، در محـدوده سـالهای ۲۰۰۳ –۲۰۱۲ میلادی همانند تانگ و همکاران (۲۰۱۳)، تمام ابرهایی که میانگین قلۀ آنهـا در ارتفـاعی کمتـر از ۲ کیلـومتر از سـطح زمین است (ابرهایی که CTP بیشتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال دارند)، انتخاب و بررسی شده اند.

٤. بحث و نتایج

داده های CTP تمامی روزها در بین بازه ۱۰ ساله ۲۰۰۳–۲۰۱۲ میلادی استخراج و در روزهایی که میـانگین CTP بزرگتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال بودند، کمیت های CER, COT, CTT, CTP, CWP, CF آنهـا اسـتخراج شـدند. سـپس برهم کنش هواویز– ابر با کمک کمیت های نوری هواویزها یعنی AOD و AI و کمیت هـای خردفیزیـک ابـر مـورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در جدول (۱)، ماتریس ضرایب همبسـتگی پیرسـون (قسـمت (الـف)) و اسـپیرمن (قسمت (ب))، بین کلیه کمیت های خردفیزیک ابر با AOD و همچنین AI به کمک نـرم افـزار SPSS-V13 محاسـبه و نوشته شده است. در شکلهای (۳) و (٤)، بترتیب، نمودارهای پـراکنش بـین کمیـت هـای CF، CTT، CTP، CER، COT، CWP با AOD و نیز بین کمیت های CF، CTT، CTP، CER، COT، CWP با AI ترسیم شده انـد. همچنـین در شکل (۵)، نمودارهای پراکنش بین خود کمیت های خردفیزیک ابر، ترسیم شده اند.

با توجه به جداول(۱) و شکل های (۳) و (٤)، می توان نتیجه گرفت کـه، بـین (CTP وAI) و (CTP وAOD) و (CTT وAI) و (CTP وAOD) نتایج مشترک و همبستگی های مثبت و معنی دار مشاهده مـی شـود. بـه عبـارتی در این ۱۰ سال، افزایش (کاهش) هواویزها در شهر تهران باعث کاهش (افزایش) ارتفاع ابرها شده اسـت. نتیجـه مشـترک دیگر بین تمامی نتایج، همبستگی منفی و معنی دار بین (AOD وCF) و (AI وCF)، مـی باشـد کـه نشـان مـی‌دهـد افزایش (کاهش) هواویزها باعث کاهش (افزایش) ابرناکی شده است. این سه همبستگی نشان مـی دهنـد کـه افـزایش هواویزها باعث کـاهش مقـدار و شـدت ابرنـاکی شـده اسـت. امـا بـین AOD بـا CWP، COT وCER همبسـتگی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی بین AI با COT، CWP و CER همبستگی منفی و معنـی‌دار مشـاهده شـده اسـت.

1 Penner
2 Gryspeerdt

البته بین CER وAI با ضریب همبستگی پیرسون همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد ولی با ضریب همبستگی اسپیرمن همبستگی منفی و معنی دار در سطح اعتماد ۰/۰۵ وجود دارد. به عبارتی در شهر تهران افزایش (کاهش) هواویزها باعث کاهش (افزایش) ضخامت نوری، شعاع موثر قطرک و مسیر آب ابرها شده است. این نتایج به نوعی کاهش ابرناکی را در زمان افزایش هواویزها (پدیده فرابارورى[1]) در طی این ۱۰ سال نشان می دهند.

همانطور که از مقادیر ضرایب همبستگی و نمودارهای پراکنش دیده می شود AI نسبت به AOD شاخص کارآمد تری برای جانشینی CCNها می باشد. شاخص AOD، مقدار و غلظت هواویزها را در یک ستون از جو نشان می دهد ولی شاخص AI علاوه بر مقدار و غلظت هواویزها، اندازه آنها را نیز شامل می شود. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می توان نتیجه گیری کرد که، AI نماینده بهتری برای CCNها در شهر تهران می تواند باشد.

در شکل(٦) قسمت (الف)، نمودار پراکنش بین AI و بخار آب نزدیک فروسرخ و در قسمت (ب) نمودار پراکنش بین AOD و بخار آب نزدیک فروسرخ، برای ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بزرگتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال، که از داده های سنجنده مادیس ماهواره آکوا استخراج شده اند، ترسیم شده است. همانطور که از این شکل دیده می شود، همبستگی مثبت و معنی دار بین رطوبت موجود در جو با AI وAOD وجود دارد. این مطلب نشان می دهد که، رطوبت می تواند عاملی برای ایجاد خطا در مقادیر AOD وAI باشد. یعنی با وجود بالا نبودن غلظت هواویزها در جو در یک روز مرطوب، مقدار شاخص نوری هواویزها (AOD و AI) می توانند بطور کاذب بالا بروند. بنابراین افزایش شعاع موثر ذرات هواویز در روزهای با رطوبت بالا، در بررسی های خردفیزیک ابر باید مورد توجه قرار بگیرند. به عبارتی در مطالعه رابطه هواویز–ابر به کمک داده های ماهواره ها، همواره خطاهایی که قابل حذف شدن نیستند وجود دارند و نتایج را همراه با خطا خواهند کرد.

با توجه به نمودارهای شکل (۵) و جداول (۱)، ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن مشترک، معنی دار و مثبت بین کمیت های خردساختار ابرها، بین کمیت های (CTP وCTT)، (CER وCWP) و (CWP وCOT) وجود دارند. همچنین ضرایب همبستگی مشترک، معنی دار و منفی بین کمیت های (CTT وCF)، (CWP وCTT) و (COT وCTT) وجود دارند. همبستگی های بین (CTT و CTP) ، (CF و CTT) ، (CWP وCOT) ، (CWP وCTT) و (CTT و COT) کاملاً بدیهی می باشد و با مطالعات نظری و مشاهداتی خردفیزیکی ابرها، مطابقت خوبی نشان می دهند. اما در مورد همبستگی مثبت و معنی دار بین CER و CWP (یعنی افزایش در شعاع موثر قطرک های ابر باعث افزایش در مسیر آب ابر شده است) دو علت را می توان بیان کرد. از آنجاییکه غلظت آلاینده های ذره ای در شهر تهران در بیشتر روزهای سال بالا می باشد، ذرات هواویز در اندازه های ریز، در زمان کوتاهی در اثر برخورد و بهم آمیختگی به اندازه های درشت تبدیل می شوند. بنابراین ازدیاد ذرات هواویز انسان ساخت در اندازه درشت،

1 overseeding

که به عنوان هسته های میعان ابر بکار می روند، یکی از دلایل این همبستگی مثبت می باشند. دلیل دیگر همانطور که ذکر شد، افزایش شعاع هواویزها در اثر رطوبت می باشد (شکل ٦).

جدول ۱ ماتریس ضرایب همبستگی (الف) پیرسون و (ب) اسپیرمن، بین کمیت های خردفیزیک ابرهای نازک و پایین با AI و AOD، در محدوده زمانی سالهای ۲۰۰۳–۲۰۱۲ میلادی که از داده های سنجنده مادیس ماهواره آکوا بدست آمده اند.

	AOD	**AI**	**CER**	**CTP**	**CTT**	**CF**	**CWP**	**COT**
AOD	۱							
AI	۰/۹۳**	۱						
CER	−۰/۰۱	−۰/۲۱	۱					
CTP	۰/۳۶**	۰/۴۲**	۰	۱				
CTT	۰/۳۷**	۰/۵**	−۰/۱۹	۰/۵**	۱			
CF	−۰/۲۱*	−۰/٤**	۰/۱۸	−۰/۳**	−۰/۸۷**	۱		
CWP	۰/۱۵	−۰/۳۱*	۰/۵**	−۰/۱	−۰/٤**	۰/۲۷	۱	
COT	۰/۰٤	−۰/۳۲*	۰/۱۳	−۰/۱۲	−۰/٤٤**	۰/۲٦	۰/۸۱**	۱

**همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۱ قابل قبول است.

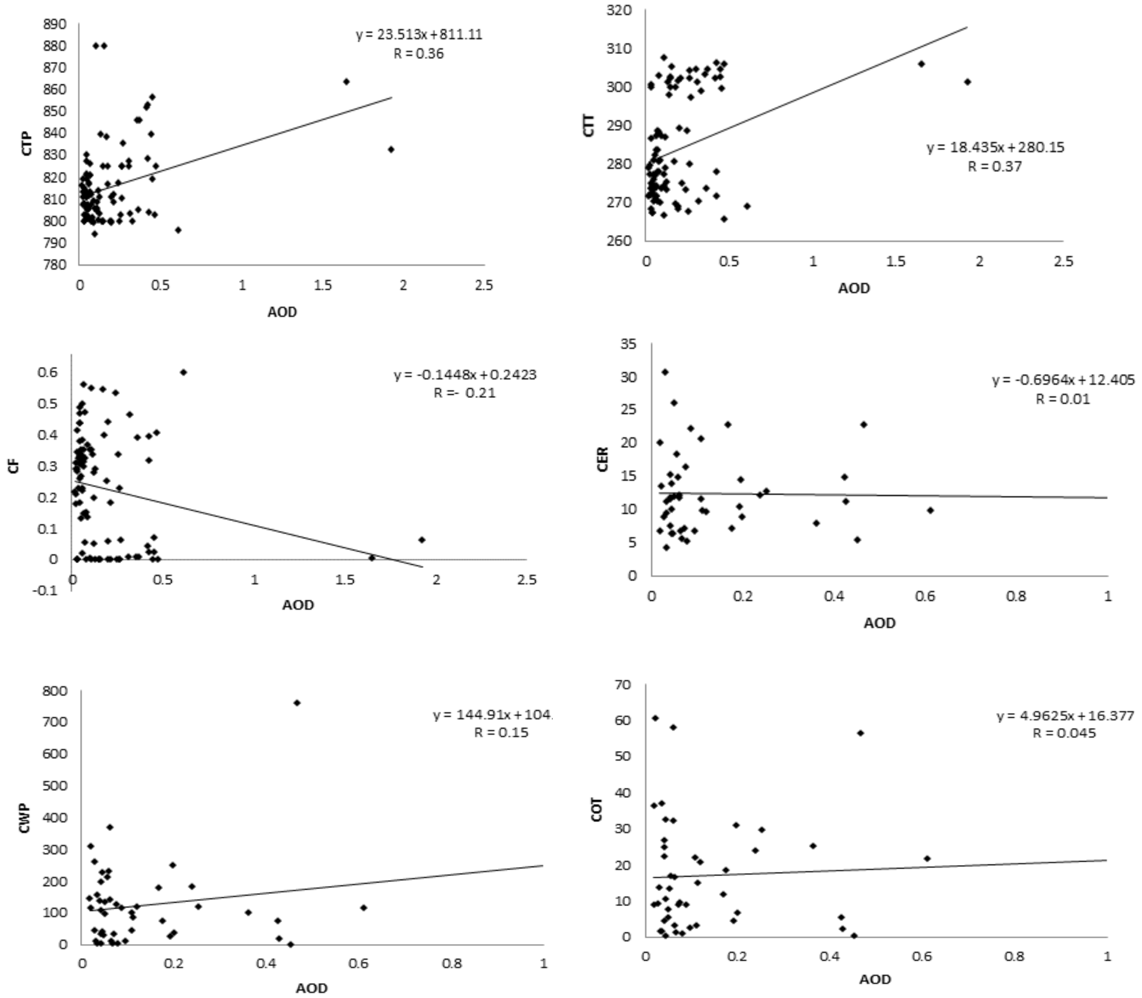
*همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۵ قابل قبول است.

(ب) ماتریس ضرایب همبستگی اسپیرمن

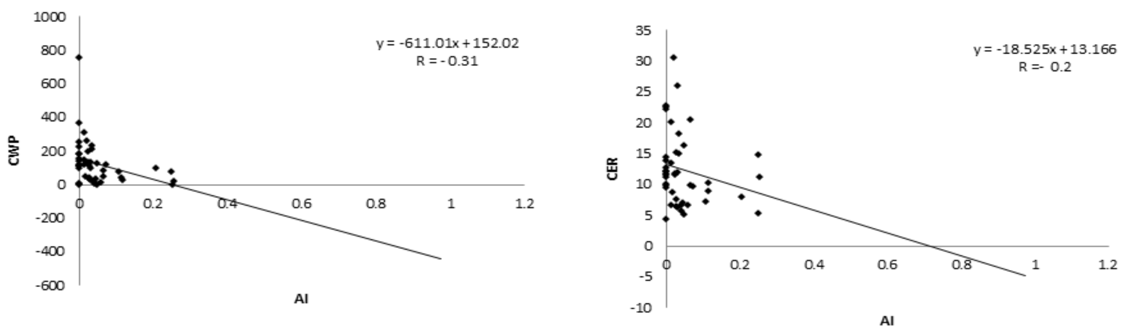
	AOD	**AI**	**CTP**	**CTT**	**CF**	**CER**	**CWP**
AOD	۱						
AI	۰/٦۷**	۱					
CTP	۰/۱۹*	۰/۲۳*	۱				
CTT	۰/٤**	۰/٦٥**	۰/۲۹**	۱			
CF	−۰/۲٥*	−۰/٥۷**	−۰/۰۷	−۰/۸٤**	۱		
CER	۰/۰۱	−۰/۲۹*	−۰/۱۲	−۰/۲٤	۰/۳*	۱	
CWP	−۰/۱۱	−۰/٤٥**	۰	−۰/٤۳**	۰/۲۸	۰/٦۳**	۱
COT	−۰/۰۷	−۰/٤۱**	۰	−۰/٥۲**	۰/۲۹	۰/۳*	۰/۸۷**

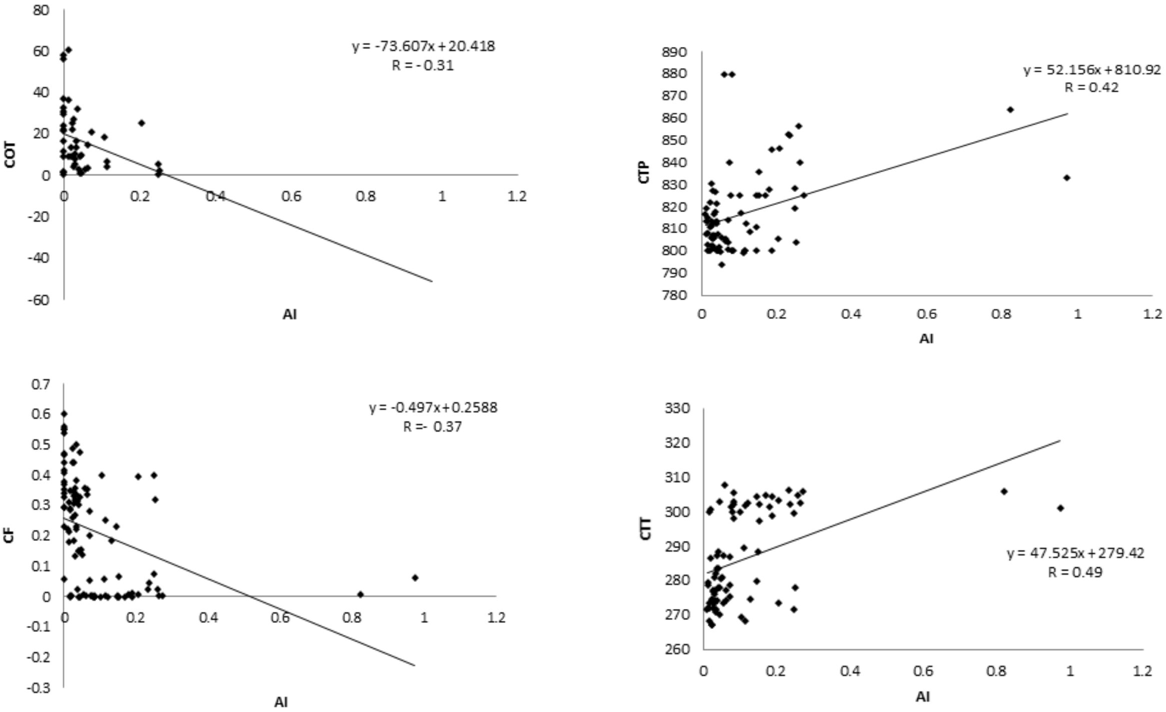
**همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۱ قابل قبول است.

*همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۵ قابل قبول است.

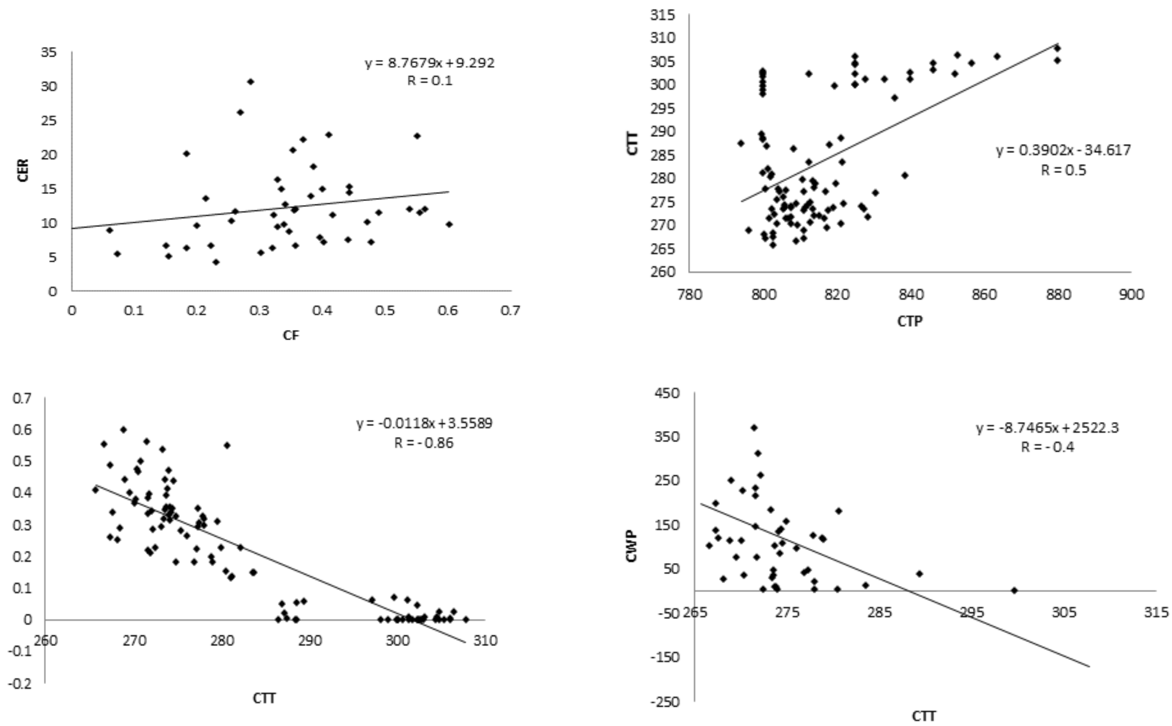


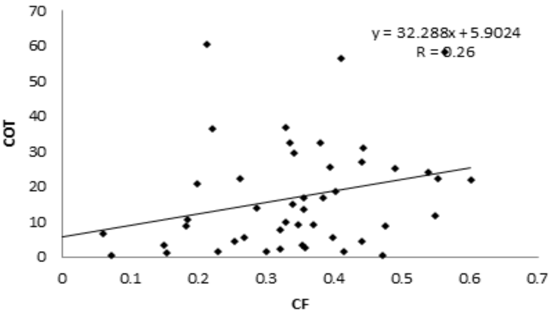
شکل۳ . نمودارهای پراکنش بین کمیت های خردفیزیک ابر وAOD، برای ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بزرگتر از 800 هکتوپاسکال، در طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ میلادی و در شهر تهران.

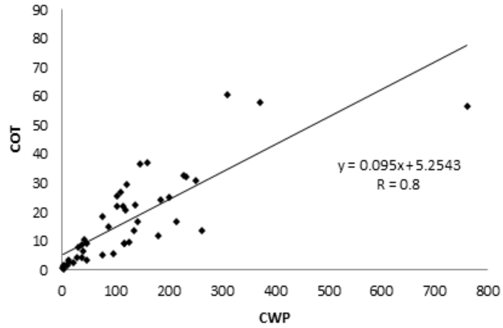


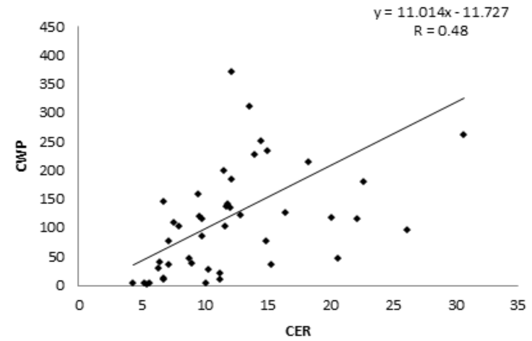


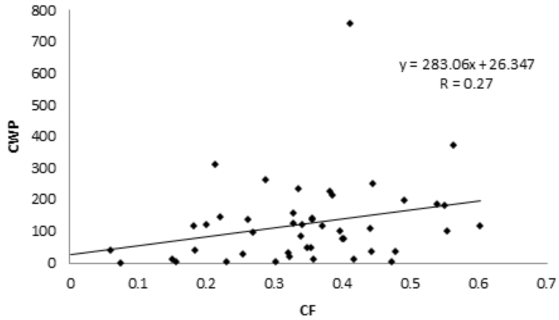
شکل٤ .نمودارهای پراکنش بین کمیت های خردفیزیک ابر و AI ، برای ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بزرگتر از 800 هکتوپاسکال، در طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ میلادی، در شهر تهران.

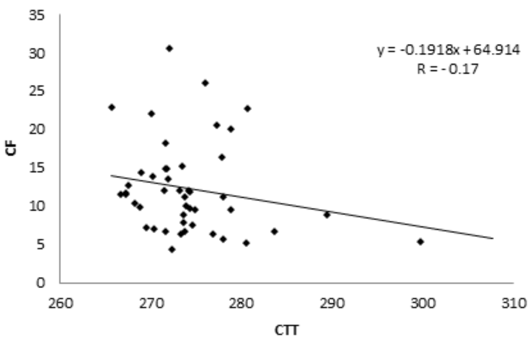


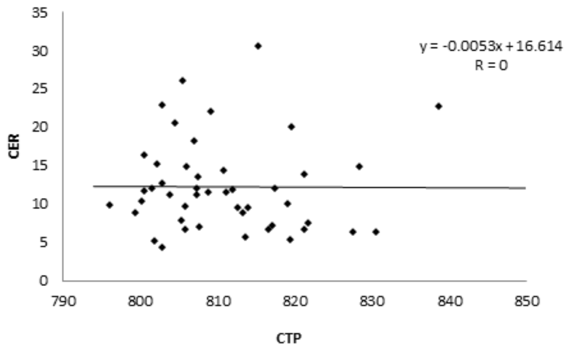

y = 32.288x + 5.9024
R = 0.26
COT
CF

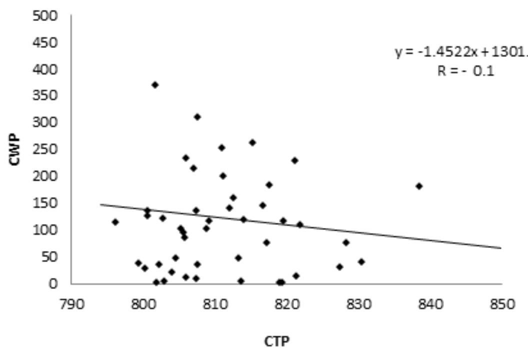

y = 0.095x + 5.2543
R = 0.8
COT
CWP

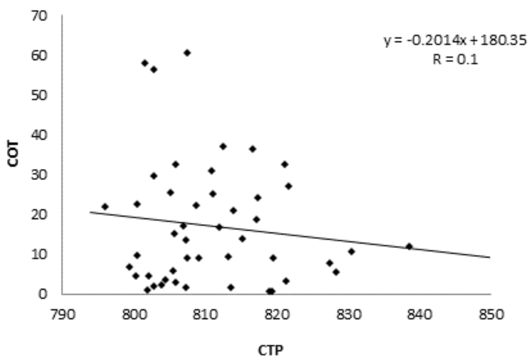

y = 11.014x - 11.727
R = 0.48
CWP
CER

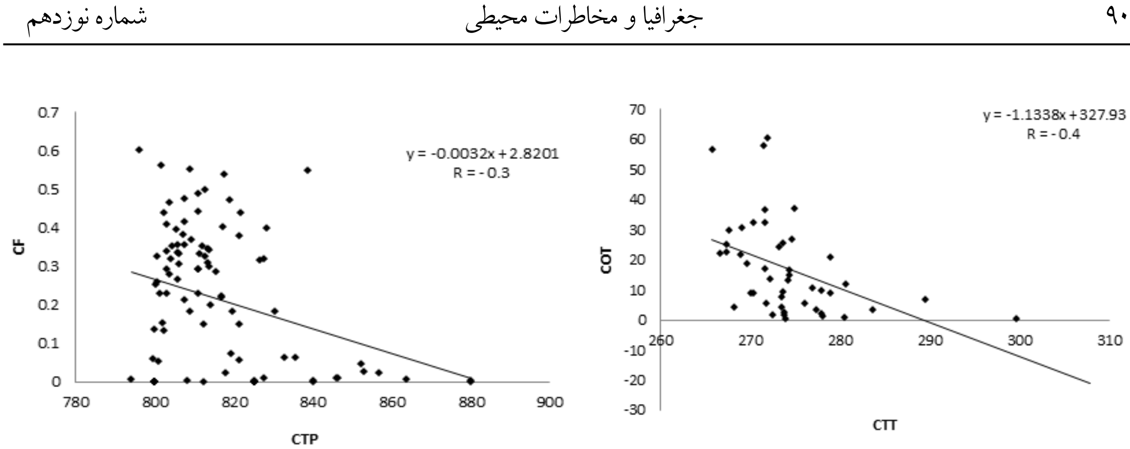

y = 283.06x + 26.347
R = 0.27
CWP
CF


y = -0.1918x + 64.914
R = -0.17
CF
CTT

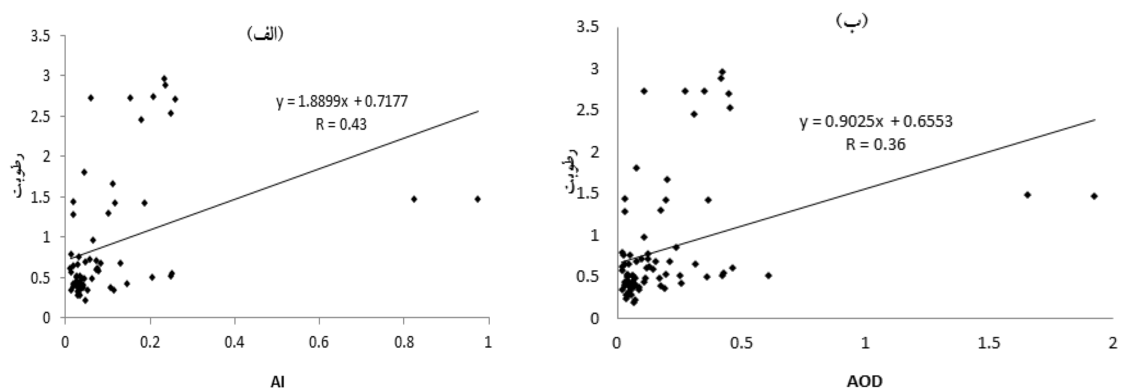

y = -0.0053x + 16.614
R = 0
CER
CTP


y = -1.4522x + 1301.6
R = - 0.1
CWP
CTP


y = -0.2014x + 180.35
R = 0.1
COT
CTP



شکل۵. نمودارهای پراکنش بین کمیت های خردفیزیک ابر، برای ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بزرگتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال، در طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ میلادی در شهر تهران.



شکل٦ . نمودارهای پراکنش بین (الف) AI و بخار آب نزدیک فروسرخ و (ب) AOD و بخار آب نزدیک فروسرخ، برای ابرهای با میانگین فشار بالای ابر بزرگتر از ۸۰۰ هکتوپاسکال، که از داده های سنجنده مادیس ماهواره آکوا استخراج شده اند.

۵. نتیجه گیری

در این مطالعه رابطه بین هواویز- ابر به کمک سنجنده مادیس، در محدوده سالهای ۲۰۰۳-۲۰۱۲ میلادی و در شهر تهران بررسی شده است. برای صحت بیشتر نتایج، انتخاب سنجنده مادیس ماهواره آکوا، مطالعه فقط بر روی ابرهای پایین و نازک و نیز استفاده همزمان از عمق نوری هواویز و شاخص هواویز به عنوان نماینده هواویزها، به عنوان مفروضات اولیه، اعمال شده است.

ارتباط بین عمق نوری و شاخص هواویزها با خردفیزیک ابرهای نازک و پایین، همبستگی منفی بین مقدار هواویزها با ارتفاع قله ابر، مسیر آب ابر، ضخامت نوری ابر، کسر ابرناکی و شعاع موثر قطرک های ابر را نشان می

دهند. این مطالب حکایت از کاهش مقدار و شدت پدیده ابرناکی (فراباروری) در شرایط آلـوده از نظـر هواویزهـا مـی باشند. بر اساس مطالعات انجام شده در ابرهای گرم، افزایش غلظت آلاینده های ذره ای (هواویزهـا) در زمـان تشـکیل ابرها، باعث افزایش تعداد هسته های میعان ابر (CCN) می شوند. افزایش تعداد هسته های میعان ابر نیز مطـابق بـا اثـر تومی(تومی۱۹۷۷، تومی و همکاران ۱۹۸٤) باعث کاهش شعاع موثر قطرک های ابر و افـزایش سـپیدایی ابـر خواهنـد شد. همچنین، با بالا رفتن غلظت هواویزها، ابرهای گرم و بارش های آن بدلیل کاهش اندازه های قطرک هـا و کـاهش برخورد و بهم آمیختگی آنها، کاهش خواهنـد یافـت (اسـکوار[1]و تـومی ۱۹٦٦، وارنـر[2] و تـومی ۱۹٦۷، وارنـر۱۹٦۸ ، رزنفلد[3] ۱۹۹۹). بنابراین از آنجاییکه بدلیل کاهش خطاهای بازیـابی مـاهواره ای ابرهـای انتخـاب شـده در ایـن مقالـه ابرهای گرم هستند، نتایج بدست آمده با اولین اثر غیرمستقیم هواویزها یا اثر تومی کاملاً موافقت و مطابقت دارد.

با توجه به کلیه نتایج بدست آمده دیده شد کهAI نسبت به AOD نماینده ارجح تری برای هسـته هـای میعـان ابـر در شهر تهران بوده است. دلیل آن این است که شاخص هواویز (AI) علاوه بـر غلظـت هواویزهـا انـدازه آنهـا را نیـز شامل می شود.

در این مقاله با اعمال مفروضاتی خطاهای ناشی از بازیابی های سنجنده مادیس را بـه کمتـرین مقـدار کـاهش داده ایم. ولی عوامل مختلف هواشناسی و از همه مهم تر باد و رطوبت، اجزای جدا نشـدنی در مطالعـه خردسـاختار ابرهـا می باشند و نمی توان آنها را از هم تفکیک نمود. بنابراین برای مطالعـات دقیـق روی بـرهم کـنش هواویزهـا و ابرهـا، نیازبه مطالعه دقیق شرایط دینامیکی، همدیدی، خواص فیزیکی و شیمیایی هواویزها بطور همزمان می باشـد. البتـه ایـن مطلب توسط نگارندگان در دست بررسی می باشد.

کتابنامه

احدی، سولماز؛ نجفی، محمد علی؛ روشنی، محسن؛ ۱۳۹۰. گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۰. گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا. واحد پایش و پژوهش. شماره QM91/02/06(U)/01.

احدی، سولماز؛ نجفی، محمد علی؛ روشنی. محسن؛ ۱۳۹۱. گزارش سالانه کیفیت هوای تهران در سال ۱۳۹۱. گزارش فنی شرکت کنترل کیفیت هوا، واحد پایش و پژوهش. شماره QM92/03/03/(U)/01.

Abish, B., Mohanakumar, K., 2011. Role of fine mode aerosols in modulating cloud properties over industrial locations in north India. Ann. Geophys., 29, 1605–1612.

Ackerman, A. S., O. B. Toon, D. E. Stevens, A. J. Heymsfield,V. Ramanathan, and E. J. Welton, 2000. Reduction of tropicalcloudiness by soot, Science, 288, 1042–1047.

Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2011, Annual report on air quality in Tehran in1390,Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, QM91/02/06(U)/01.

1 Squires
2 Warner
3 Rosenfeld

Ahadi, S., Najafi, M.A., Roshani, M., 2012, Annual report on air quality in Tehran in1390,Technical Report on Air Quality Control, Monitoring and Research Unit, Q M92/03/03/(U)/01.

Albrecht, B. A., 1989. Aerosols, cloud microphysics and fractionalcloudiness, Science, 245, 1227–1230, doi:10.1126/science.245.4923.1227.

Andreae, M. O., 2009. Correlation between cloud condensation nuclei concentration and aerosol optical thickness in remote and polluted regions. Atmos. Chem. Phys., 9, 543–556.

Breon, F.M., Tanre, D., Generoso, S., 2002. Aerosol effect on cloud droplet size monitored from satellite. Science 295, 834e838.

Gryspeerdt, E., Stier, P., and Partridge, D. G., 2014. Satellite observations of cloud regime development: the role of aerosol processes, Atmos. Chem. Phys., 14, 1141–1158.

Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy., 1997. Radiative forcing and climate response, J. Geophys. Res., 102, 6831–6864.

Jung, W.-S.,Panicker, A.-S., Lee, D., Park, S.-H., 2013. Estimates of Aerosol Indirect Effect from Terra MODIS over Republic of Korea. Hindawi Publishing Corporation, Advances in Meteorology, Volume 2013, Article ID 976813, 8 pages.

Kaufman, Y.J., Koren, I., Remer, L.A., Rosenfeld, D., Rudich, Y., 2005. The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 102, 11207e11212.

Koren, I., Feingold, G., Remer, L.A., 2010. The invigoration of deep convective cloudsover the Atlantic: aerosol effect, meteorology or retrieval artifact? Atmos. Chem. Phys. 10, 8855e8872.

Levy, R.C., Remer, L.A., Kleidman, R.G., Mattoo, S., Ichoku, C., Kahn, R., Eck, T.F., 2010. Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land. Atmos. Chem. Phys. 10, 10399e10420.

Levy, R.C., Remer, L.A., Mattoo, S., Vermote, E.F., Kaufman, Y.J., 2007. Second-generation operational algorithm: retrieval of aerosol properties over land from inversion of moderate resolution imaging spectroradiometer spectral reflectance. J. Geophys. Res. Atmos. 112.

Nakajima, T., Higurashi, A., Kawamoto, K., and Penner, J., 2001. A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters, Geophys. Res. Lett., 28, 1171–1174,doi: 10.1029/2000GL012186, 2001.

Penner, J.E., Zhou, C., Xu, L., 2012. Consistent estimates from satellites and models for the first aerosol indirect forcing. Geophys. Res. Lett. 39.

Remer, L. A., Kleidman, R. G., Levy, R. C.,Kaufman, Y. J., Tanr´e, D., Mattoo, S.,Martins, J. V., Ichoku, C., Koren, I., Yu, H.and Holben, B. N., 2008, Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors,J. Geophys. Res., 113, 426-403.

Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanre, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., Li, R.R.,Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G., Eck, T.F., Vermote, E., Holben,

B.N., 2005. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. J. Atmos. Sci. 62, 947e973.

Rosenfeld, D., 1999. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall, Geophys. Res. Lett., 26, 3105–3108, doi:10.1029/1999GL006066.

Squires, P., and S. Twomey., 1966. A comparison of cloud nucleusmeasurements over central North America and Caribbean Sea,J. Atmos. Sci., 23, 401–404, doi:10.1175/1520-0469(1966)023<0401:ACOCNM>2.0.CO;2.

Tang, J., Wang,P., Mickley, L., Xia, X., Liao, H., Yue, X., Sun, L., Xia, J., 2013. Positive relationship between liquid cloud droplet effective radius and aerosol optical depth over Eastern China from satellite data. Atmospheric Environment 84 (2014) 244e253.

Twomey, S., 1977. The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds, J. Atmos. Sci., 34,1149–1152.

Twomey, S., M. Piepgrass, and T. L. Wolfe., 1984. An assessmentof the impact of pollution on global cloud albedo, Tellus, Ser. B,36, 356–366.

Warner, J., A reduction of rain associated with smoke from sugar-cane fires – An inadvertent weather modification, J. App. Meteor., 7, 247–251, 1968.

Warner, J., and S. Twomey., 1967. The production of cloud nuclei by cane fires and the effect oncloud droplet concentration, J. Atmos. Sci., 24, 704–706.

Yuan, T.L., Li, Z.Q., Zhang, R.Y., Fan, J.W., 2008. Increase of cloud droplet size with aerosol optical depth: an observation and modeling study. J. Geophys. Res. 113.